



宇宙科学最前線

観測ロケットS-310-41号機実験。カプセル搭載カメラより柔軟エアロシェル越しに見えた地球の姿(カプセル分離から26秒後、高度約130km)

観測ロケットを用いた 超高層大気領域の研究

太陽系科学研究系 准教授 阿部琢美

青空のかなたには何があるでしょうか。

「宇宙」と答える方が多いかもしれませんが、雲が浮かぶ高度約10kmまでの対流圏の外側には成層圏、中間圏、熱圏とさまざまな領域が広がっています(図1)。高度約80km以上の空間は大気の一部が電離していることから、電離圏と呼ばれています。電離圏は、我々が生活する地上とも宇宙空間とも異なる極めて特異な領域です。ここでは「超高層大気領域」という一般的な名称を用いることにしましょう。本稿では、この領域の特徴と現在行われている研究を、分かりやすく紹介したいと思います。

超高層大気領域の特徴で最も顕著なものは組成です。下層大気は中性大気のみ、宇宙空間では(大気が電離した)プラズマが99%以上を占めますが、超高層領域には中性大気とプラズマが共存します。プラ

ズマは電場や磁場の影響を受けながら運動しますが、大気はそうではありません。しかも両者間には衝突があるので、電磁場の影響を受けて運動するプラズマ粒子は大気粒子と衝突を繰り返しながら動いていくことになります。こんな領域は、ほかにありません。

超高層大気領域は我々が生活する空間に比較的近く、その他の宇宙空間に比べて観測の歴史は長いのですが、未解明の問題が数多く残されています。その主な理由は、大気とプラズマが共存することと、観測手段が限定されていることにあります。高度250km以上の空間は人工衛星を用いると長期間の観測が可能になりますが、80～200kmの高度領域は人工衛星には低過ぎるし、気球では到達できない高度なので、長期間の連続観測が困難なのです。地上から観測する手段もあり連続観測にはとても有効

ですが、局所的現象の議論には限界があります。このように超高層大気は、直接的な観測時間で考えると最もデータ量の少ない領域です。

この空間について「その場」での観測を可能にする手段が、観測ロケットです。このロケットの先端部(頭胴部と呼ばれる)には測定用の機器が搭載され、ロケットが超高層大気領域を飛翔している間に観測を行います。科学衛星では測定器がロケットから切り離され周回軌道に入った後に観測が開始されますが、観測ロケットではロケットが飛翔している間が勝負です。宇宙科学研究所はK(カッパ)型, S(エス)型な

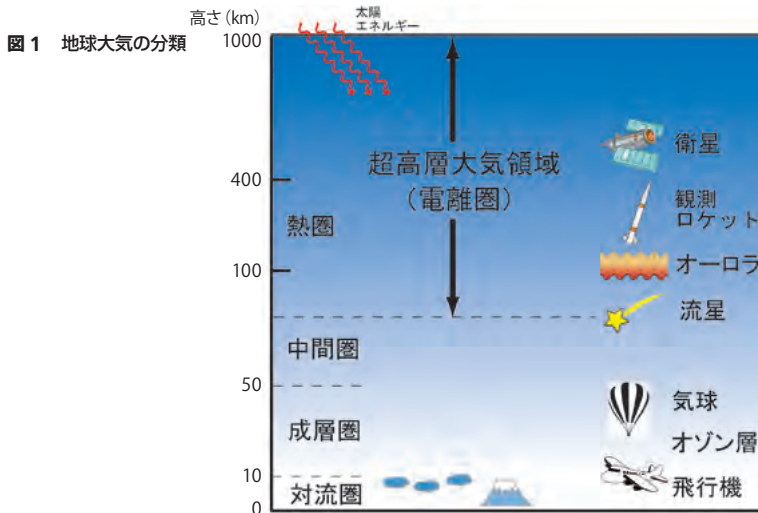


表1 2000年以降に実施された観測ロケット実験

ロケット名	打上げ日	目的	打上げ地
S-310-29	2000/1/10	大気光波状構造の解明	内之浦
SS-520-2	2000/12/4	イオン流出機構の観測	ニーオルスン(ノルウェー)
S-310-30	2002/2/6	下部熱圏の力学とエネルギー収支の解明	内之浦
S-310-31	2002/8/3	スポラディックE層に伴うイレギュラリティの生成機構解明	内之浦
S-310-32	2002/8/3	スポラディックE層に伴うイレギュラリティの生成機構解明	内之浦
S-310-33	2004/1/18	大気光波状構造の解明	内之浦
S-310-34	2004/8/9	ソーラーセイル実用化のための大型薄膜展開実験	内之浦
S-310-35	2004/12/13	極域下部熱圏の力学とエネルギー収支の研究	アンドーヤ(ノルウェー)
S-310-36	2006/1/22	アクティブ・フェイズド・アレイ・アンテナの実験	内之浦
S-310-37	2007/1/16	下部電離圏の高温度層生成メカニズムの解明	内之浦
S-520-23	2007/9/2	電離圏中の中性・電離大気現象と気象・海洋現象の多波長撮影	内之浦
S-310-38	2008/2/6	電離圏中の3次元プラズマ分布の観測	内之浦
S-520-24	2008/8/2	微小重力環境を利用した結晶成長のメカニズム解明	内之浦
S-310-39	2009/1/26	極域下部熱圏の力学とエネルギー収支の研究	アンドーヤ(ノルウェー)
S-520-25	2010/8/31	エレクトロダイナミックテザーの基礎実験と微小重力環境下におけるテザーを用いたロボットの姿勢制御	内之浦
S-310-40	2011/12/19	夜間中緯度電離圏における電波伝搬解析	内之浦
S-520-26	2012/1/12	熱圏中性大気とプラズマの結合過程解明	内之浦

どの観測ロケットを用いて、さまざまな超高層大気領域の観測を行ってきました。表1に2000年以降に打ち上げられた観測ロケットの一覧を示しますが、多岐にわたる実験が行われてきたことが分かります。ここではその中の3つの実験を例として、どのような研究が行われているかについて紹介します。

S-310-35号機実験(DELTAキャンペーン)

高緯度地方で見られるオーロラは、高い高度から降り込んでくる電子が熱圏下部(高度約100~120km付近)に存在する大気粒子を励起(エネルギーの高い状態に移す)した後、そのエネルギーが解放される時に生じる発光現象です。このようなオーロラ降下粒子や電磁力による加熱現象は熱圏大気に大きなエネルギーをもたらす、その結果として大気の運動(風)が駆動され、鉛直上方や水平方向に特徴的な構造を持つ風系を引き起こすという報告があります。同時に、著しい速度シア(狭い距離で急激に風の方向や速度が変わる)の存在など、多くの未解明の問題が浮かんできました。

S-310-35号機実験の目的は、オーロラが発生している領域で大気(窒素分子)の温度や密度、オーロラ発光強度をロケット搭載機器により観測し、同時に地上の設備を用いてイオン温度や密度、中性風、オーロラ発光分布などを観測し、オーロラ発生時の熱圏大気の力学とダイナミクスの解明を行うことにありました。本実験はこのように「オーロラ現象に伴う大気の運動の解明」を主目的とするため、ロケットは高緯度(緯度約69度)に位置するノルウェーのアンドーヤロケット実験場から打ち上げられました。

観測結果の一例を紹介すると、窒素分子測定器から求めた値と本研究分野で最もよく使用されている大気モデルであるMSISを比べると、窒素分子の回転温度は高度110kmにおいて70~140K高く(図2参照)、数密度は高度95kmで70%、高度140kmで10%低いことが分かりました。窒素分子の温度が実際にこれだけ異なるとすれば中性大気-イオン間の衝突周波数が大きく異なることとなり、中性風、電離圏電流、エネルギー輸送率の再考を促すこととなります。

また、地上観測から得られた大気の鉛直上昇流や窒素分子の高い温度はEISCATレーダー観測に基づいて計算された加熱率と詳しい比較が行われ、加熱率の変化の後に比較的短時間で上昇流が発生していたことや、風の速度は降下粒子などによるエネルギー流入率と関連性を持つことが明らかになりました。

S-310-37号機実験

地表面からの高さが約100~120kmの領域での大気温度はおおよそ200~400Kであり、電離した大

気であるプラズマの温度は同程度か多少高めめの値であることが、これまでの観測から明らかになっています。しかし以前、内之浦から打ち上げられた観測ロケット観測により、特殊な条件のもとでプラズマ中の電子の温度が通常の数倍にも上昇することが報告されています。その後の研究により、このような高温領域はSq電流系と呼ばれる電離圏を水平方向に流れる電流の中心付近に位置し、図3に示すような南北両半球にそれぞれ存在するSq電流系を結ぶように流れる沿磁力線と関係があるらしいとの研究報告がなされました。S-310-37号機実験の目的は、この高電子温度層生成メカニズムを解明することにあります。

本実験では沿磁力線方向の電子加速が加熱を引き起こしているであろうとの予想から、新たに開発された超熱的電子エネルギー分析器と3対から構成される電場計測器が中核的役割を果たすこととなりました。新規測定器の性能実証という観測ロケット実験が持つ大事な役割を有効に使った実験です。

実験結果ですが、電子温度測定器およびラングミュアプローブが当初のもくろみ通りに高度95～101kmに背景よりも約500～600K高い高電子温度層の存在を捉えました。ところが、微小空間スケールの電子密度変化を観測するために搭載した固定バイアスプローブが、電子温度上昇域を含む高い高度(97～120km)までの領域において数百Hzの激しい電子密度擾乱を捉えたことは予想外の収穫でした。これは空間スケールで数mに相当し、プラズマ不安定現象の存在を強く示唆するものです。さらに、1) 電子密度擾乱はSq電流系の中心に近いほど激しい、2) 擾乱はロケットスピンによる変調を受けている、という観測事実は、現象の空間分布や擾乱異方性の存在を示唆するもので、特異な空間であることを物語っています。

S-520-23号機実験(WINDキャンペーン)

最初に述べたように、高度100～300kmの熱圏下部においては中性大気と電離大気(プラズマ)が共存しますが、これらの大気粒子間には相互の衝突があるため、運動量の交換が行われます。中性大気粒子は電磁気的な力を受けずに運動するのに対し、電離大気粒子は磁力線を横切る方向に移動しにくいいため、おのおのは別の方向に運動しながら衝突により力を受けるので、密度や電磁場に依存して複雑な運動を行うようになります。このような粒子間の衝突や電場を介した運動量の交換(輸送)は理論的には古くから研究がなされてきたのに対して、観測的・実験的な検証は不十分なままで、キーとなるパラメータが同時にかつ直接的に観測された例はほとんどありませんでした。

S-520-23号機実験の目的は、熱圏下部において

図2 窒素分子温度の高度プロファイル

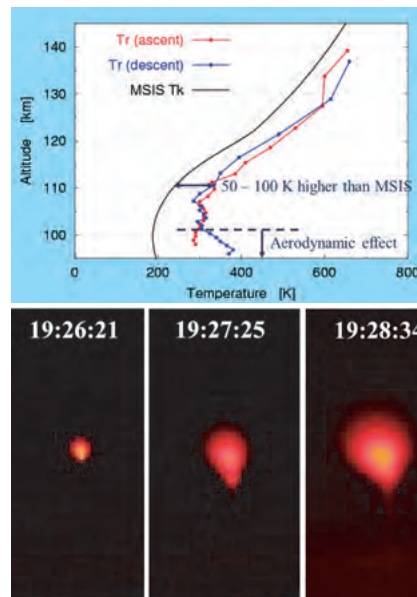


図3 Sq電流系中心の高電子温度層

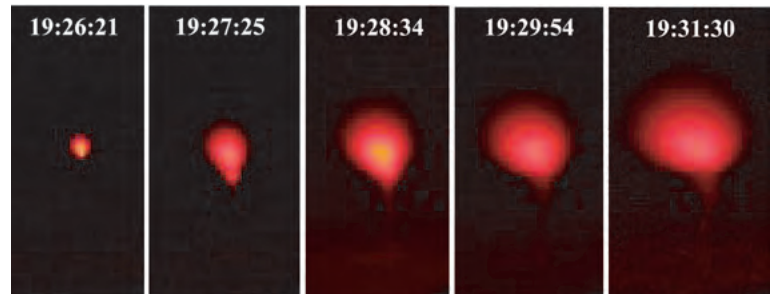
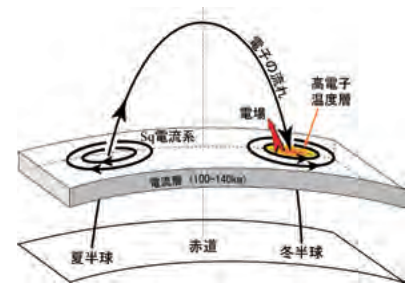


図4 内之浦で撮影されたリチウム発光の連続画像(提供:北海道大学,高知工科大学)

電子密度、イオンの密度と運動速度、電場と中性大気(風(運動))の直接観測を実施し、中性大気-電離大気間の運動量交換を理解し、さまざまな現象の生成と発達に与える輸送過程の役割を解明することになりました。

この実験で注目を集めたのは、ロケットから放出されたリチウム蒸気の発光雲の連続撮像による中性大気風の観測です。この種の風の測定法は極めて限られており、リチウムを用いた方法もここ30年ほど途絶えていましたが、本実験のために日本が開発し成功したために世界の研究者から引き合いが来ています。図4は内之浦で撮影されたリチウム発光画像ですが、風は発光領域の時間的な変化から推定します。画像の詳細な解析結果から高度120km付近を境に風の向きと大きさが急激に変わる速度シアと呼ばれる領域が見つかったことが大きな特徴でした。

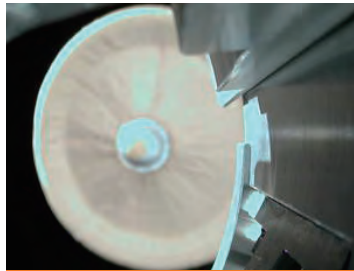
S-520-23号機実験には、もう一つ「気象・海洋現象の超多波長イメージング」というミッションがありました。これは高度100km以上から積乱雲および海洋領域を1nmごとの超多波長で撮影し、水蒸気輸送や河川の水流入とプランクトンの分布を、高精度で捉えることを目指したものです。残念ながらカメラを対象物に向ける機能がうまく動作しなかったために、当初の目的は達成できませんでしたが、貴重なデータが得られています。

このように、観測ロケットは超高層大気領域に関する我々の理解を深めるために用いられています。より深い理解のために必要な観測手法を考案し、新たな測定器を開発し、ロケットに搭載して飛翔データを取得する、という一連の流れを短期間で実現可能なことも観測ロケット実験の醍醐味の一つです。今後も皆さまのご理解とご協力を賜りたく、よろしくお願い致します。(あべ・たくみ)

観測ロケット S-310-41 号機 打上げ成功

上空で空気ブレーキを展開して効率よく減速する、新しい大気圏突入技術の実証を目的とした観測ロケット S-310-41号機の打上げが、8月7日16時30分に内之浦宇宙空間観測所にて行われました。カバーが外れると、搭載した小型ポンペからガスが送られて浮き輪型フレームが展開し、フレームと本体の間に円錐台状の膜面エアロシェルが張られる仕掛けです。重量は15.6kg、展開時の直径は約1.2m。実験機の概要については本誌2012年5月号も併せてご参照ください。

鹿児島県を襲った記録的豪雨による7月の打上げ延期から、このような短期間で再開できるとは、関係者のご尽力に頭が下がります。準備も順調で、全体打ち合わせ後、ロケット側に私たちのカプセルを引き渡しました。折あしく真夏ということで、外気温上昇で搭載の小型ポンペが暖まり過ぎ、ガス系に問題が出る恐れがありました。そこでエアコンの効いた部屋に入れてもらったり、保冷箱をつくってもらったり、ランチャー上で冷たい窒素ガスを細パイプで導入してもらったりと、すっかり箱入り娘状態でした。休日返上でお世話をしてくれた方々にひたすら感謝です。



ロケットから分離されたエアロシェルの全景 (カプセル分離から3秒後、高度約110km、写真手前が地球側)

打上げ60秒後、ノーズコーン開頭でカプセル搭載カメラからの画像モニターに光が差します。そして90秒でカバーを開放するとガスが注入され、予定通りエアロシェルの展開がビデオカメラで確認されました。100秒でカプセルはロケットから分離射出されます。ロケット側搭載のカメラ画像では、次第に離れていくエアロシェルが太陽光を受けて煌々と輝いていました。その

後、最高高度約150kmに達した後、落下飛行に入りました。高度約70kmで最高速度約1.3km/sに達した後、高度30kmでは100m/s以下に落ちて空気ブレーキの利きの良さを実証しつつ、打上げ約22分後(カプセル班以外からは、長い、長い、との声しきり)に着水、実験は今後の解析が楽しみな大量のデータや画像を残して無事、終了しました。

最後となりましたが、本ロケット実験の実施に当たりご協力いただいたすべての方に、この場を借りて心よりお礼を申し上げます。鈴木にとって17年ぶりの内之浦は、素晴らしい大気圏突入実験をプレゼントしてくれました。

(東京大学教授/鈴木宏二郎、山田和彦)

観測ロケットの発射角度を決める

～OP班の風観測～

観測ロケットの飛翔実験には、レーダ班やテレメトリ班など13の班が参加します。その中で、毎日淡々とGPSゾンデという計測装置をバルーンに付けて放球している班があります。OP (Orbit Planning) 班です。フライトオペレーション期間中は1日2回、打上げ時刻とその2時間前に放球します。ふーん、バルーンを上げているだけなんだ、と思うことなかれ。

打上げ時刻に放球するというのが、くせものです。例えば午前5:00が打上げ時刻の場合、毎日昼夜逆転で午前3:00と5:00に放球です。それからバルーンが高度20kmに達するまで約1時間待ち、GPSゾンデの位置データから得られた各高度での風向・風速情報と、超音波風速計で測定した地上0mと25mの風向・風速情報を入力値として、ロケットの発



放球の様子。見た目は楽しそう!? 実際楽しい!

射角を算出します。これを毎日、打上げが延期になったら打ち上げられるまで続けて、風の傾向を把握するのです。ただし、せっかく風の傾向を把握したのに、打上げ当日に限って気圧配置が変化して、これまでのデータとまったく違う風が吹くというハプニングもあります。

打上げ当日は4.5時間前、2時間前、40分前に放球するのですが、そんなときはOP班はギリギリ舞いです。気圧配置予想なども参考にしながら刻一刻と変わる風の傾向を見極めて、発射角を決定し、ランチャー班にセット角を伝える必要があるからです。ここ何回かのフライトオペレーションでは(S-310-41号機も!)ハプニング

が続く、バタバタでしたが、祝ネライ通りの軌道飛行ということで胸をなで下ろしています。

(廣瀬史子)

「宇宙学校・さく」開催報告

JAXA臼田宇宙空間観測所のある長野県佐久市では、2年前の小惑星探査機「はやぶさ」のカプセル帰還以来、宇宙への関心が一気に高まりました。「はやぶさ」と地球の交信を支え、一時交信が途絶えたときには観測所の懸命な追跡により再開するなど、偉業の一翼を担った臼田宇宙空間観測所は、我が街の誇りとなりました。このようなことから、「はやぶさ」生みの親であるJAXAを知っていただく「宇宙学校」を開催することになりました。宇宙学校当日の8月8日、予想以上の参加者が佐久市子ども未来館に集まり、夏でも冷涼な地にあるにもかかわらず、会場は開校前から熱気に満ちていました。

1時間目は「はやぶさと臼田64mアンテナ」と題し、臼田宇宙空間観測所の山本善一所長が、「はやぶさ」と観測所との関わりやそれに関連した説明をしてくださいました。「はやぶさ」本体がミッション終了後、地球外に行く計画もあったとの説明に参加者はとても興味を持った様子で、質問コーナーでは、どこに行く予定であったのかなど数多くの質問が出ました。



プラネタリウムで宇宙学校

2時間目は「深宇宙のナゾに挑む」と題し、成田伸一郎開発員が、宇宙科学研究所やその業務内容、そして「はやぶさ」や「あかつき」の探査活動などの説明をしてくださいました。探査機の制御方法や「あかつき」の探査計画のほか、これからの宇宙開発に関する質問が多く出されました。

講師のお二人の分かりやすいお話の後、「次に質問です」と言った途端、待っていましたとばかりに「はい」という大きな声とともに元気な手が会場いっぱいになり、進行役である阪本成一校長が質問者を選ぶのに苦慮するほどでした。先生方の親切かつ柔軟なお答えに参加者は大満足の様子で、宇宙学校は無事終了しました。

宇宙学校の開催により、多くの方に宇宙科学のことを知っていただくとともに、宇宙という魅力にあふれたテーマを通して、子どもたちに大きな夢と希望、さらには科学への探究心を育むよい機会になったと思います。

この感動を忘れずに、この佐久より宇宙開発に携わる人、科学者の道を志す人を1人でも多く輩出できればと考えております。
(佐久市子ども未来館／阿部信幸)

私を宇宙に連れてって——「宇宙学校・たむら」

「金」環日食、「金」星の太陽面通過、「金」星食、ついでにロンドンオリンピックと「金づくし天文界の“ゴールデン”イヤー」に、念願の「宇宙学校・たむら」を福島県田村郡三春町で開催していただいたことを心から感謝致します。8月11日というお盆前のお忙しい中、阪本成一校長先生、石岡憲昭先生、山田和彦先生にお越しいただきました。

参加者は多くが小学校低学年だったため、少しでも先生方のお話が難しく、頭が「？」になっている子もいましたが、「宇宙でオナラをするとどうなるのですか？」という子どもらしい素朴な質問から「太陽の四極化は？」と先生も答えに悩む質問まで、子どもたちの宇宙に関する日ごろの



「三春交流館まほら」にて開催

疑問に対して、阪本校長先生と講師の先生方の楽しい掛け合いを交え分かりやすく丁寧にお答えいただき、楽しい時間を過ごすことができました。

三春町にあるさくら湖自然観察ステーションでは、25cmフローライト屈折式望遠鏡を使って「星を見る会」や、小中学生などの体験学習

を行っています。当然、宇宙に関する話をするわけですが、そのとき本やテレビ、インターネットなどで仕入れた知識をさも知ったふうに話すことが多くなりがちです。最先端にいる研究者の方々から自ら経験した話や研究の裏話など生きた話を直接聞いたことは、未来ある小中学生にとってとても貴重な経験になったと思います。こんな素晴らしい宇

宇宙学校が私の小学生時代であれば、今ごろ私も国際宇宙ステーションに搭乗していたかもしれないかなと夢想すると、今どきの子どもたちがうらやましくなります。

宇宙学校に参加した子どもたちから宇宙飛行士やJAXAで活躍する人材が誕生すれば、これほど素晴らしいことはありません。そうでなくても、1人でも多くの子どもたちが

宇宙に興味を持って星空を見上げてくれたら、うれしく思います。

これからもこうしたプログラムなどを通じて、研究やミッションの成果を発表する活動を展開し、私たちを宇宙に連れていってください。

(さくら湖自然観察ステーション企画運営委員/山口登美男)

第6回「ひので科学国際会議」(Hinode-6)報告

8月14～17日の4日間、英国セント・アンドリュース大学にて第6回「ひので科学国際会議」(Hinode-6)が開催されました。これは、2006年の太陽観測衛星「ひので」(SOLAR-B)打上げ以降、国際協力を続けてきた日米欧が毎年交代で開催してきた国際会議で、これまでの「ひので」

の科学成果と将来計画を話し合うための会議です。

今年は欧州において、来年創立600周年を迎えるセント・アンドリュース大学での開催が決まりました。スコットランド最初の大学で、現在の英国王室ともゆかりのある歴史ある大学です。またHinode-6の前にはSOLAR-C科学会議、ロケット観測実験CLASP国際会議も催されました。会議には日本からに加え、NASAやESAなどから合計160名程度が参加しました。「ひので」の観測装置開発やデータ解析に携わる人からプラズマ分光関係の研究者、理論数値シミュレーションの研究者まで、幅広い分野から参加がありました。

会議では、「ひので」を含めた最近の太陽観測での発見の報告や、それらを俯瞰するレビュー講演、また理論的解釈について議論されました。4日間で7つのセッションが開催され、太陽フレア、コロナ加熱、太陽風、ダイナモと表面磁場、活動領域形成、将来的課題といった内容で話し合われました。



セント・アンドリュース大学にて

第6回ということもあり観測解析も充実してきた、今回は「ひので」データと他衛星観測や地上観測データを併用した総合的解析や、観測結果を解釈するための数値シミュレーションの講演が多くプログラムに盛り込まれていました。以前までの会議で挙がってきた観測結果を踏まえて、さらに

一步踏み込んだ議論が今回なされていたように思います。また第24太陽活動期のピークを来年に控えて活動的な太陽について初日に議論したり、極域・静穏領域磁場の年変化といった「ひので」の長期安定観測の結果可能になってきた研究が示されたりもしました。若手研究者・大学院生の口頭発表が多く採択されていたのも特徴です。世界第一線で活躍する研究者らに顔を覚えてもらえる絶好の機会となりました。多くのポスター講演もあり、休み時間はコーヒー、紅茶を片手にポスター前で熱い議論が交わされました。

またHinode-6に先駆けて開催されたSOLAR-C科学会議では、SOLAR-C計画の準備状況と目指すべき科学目的について話し合われました。太陽磁場や彩層コロナ加熱、プラズマ素過程にフレア予測、太陽活動の社会的影響について議論され、今後重点的に取り組むべき課題が明らかになる有益な国際会議となりました。

(西塚直人)

第11回「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)開催

8月6～10日の4泊5日で行われた今年の「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)は、過去最大の応募者数を受け、作文審査でも大学院生スタッフの激論を経て選ばれた24名が参加しました。

「きみっしょん」は、4つの班に分かれ、大学院生のアドバイスのもとにミッション提案に向けた検討を行います。議論は、「どんなミッションをやるか」から始まります。高校生は初体験のブレインストーミングの中で自分の意見を主張

するために、必死で考えます。そうしてグループでまとめた意見も、中間発表会などで質問攻めの洗礼を受け、論理的弱点を突かれて議論のやり直し、となることもあります。実質3日間という限られた時間の中で、高校生は技術的検討の入り口まで何とかたり

着き、ミッションをつくるためには何をしなければならないか、を学んでくれたと思います。

ここ2～3年の傾向でもありますが、高校生が選択するミッションのテーマは、近地球の宇宙利用が多く出ました。一般の人のための宇宙旅行ビジネス、太陽光の直接供給、月面移住、連続的な重力環境の提供、など。一見よくあるテーマのようですが、それぞれの班にこれまでにない独創的なアイデアが含まれていたのが印象的でした。

今回は初めて大学院修士過程の学生中心の事務局でしたが、例年にも増して強力なリーダーシップのもと、スタッフは学年の上下を問わず一致団結協力して、若さあふれる元気な運営でした。体調を崩す参加者もなく、5日間無事にミッション検討に没頭できたのはよかったです。



「きみっしょん」参加者とスタッフの記念撮影

職員世話人としての今年の目標は、1人でも多くの先生方、職員の皆さんに「きみっしょん」に接していただくことでした。私自身は力不足で反省するところも多々ありましたが、高校生とスタッフ諸君の熱意が通じたか、最終発表会には大変多くの方にご参加いただき、

有意義な質問、コメントをいただきました。井上浩三郎さんの「私は『おおすみ』以来、40機の面倒を見ました」の発言に、大きくどよめく高校生たちが印象的でした。

最終日、高校生には毎年言っていることですが、「きみっしょん」はこの5日間で完結するものではなく、これからの彼らの人生をかけて進めるミッションの始まりです。ぜひ「きみっしょん」で学んだ「自ら考え、自ら決定し、自ら作業する」を活かしてほしいと思います。いつかどこかで再会できることを願っています。

今年は例年にも増して、さまざまな方のご支援をいただきました。宇宙科学振興会からの援助に感謝致します。そして、職員およびその他お世話になった皆さまに、あらためてお礼申し上げます。
(山村一誠)

ジオスペース探査衛星(ERG)、プロジェクトとして始動

地球近傍の宇宙空間であるジオスペースには、MeV (メガ電子ボルト) を超えるエネルギーを持つ粒子が多量に捕捉されている放射線帯 (ヴァン・アレン帯) が存在しています。この放射線帯に存在する相対論的なエネルギーを持つ電子 (MeV 以上) は、太陽風の擾乱に起因する宇宙嵐に伴って生成と消滅を繰り返しています。ジオスペース探査衛星

プロジェクト (ERGプロジェクト) は、この相対論的なエネルギーを持つ電子が「どのようにして生まれ、そして消えていくのか」、また宇宙嵐は「どのように発達するのか」を明らかにすることを目指したミッションです。

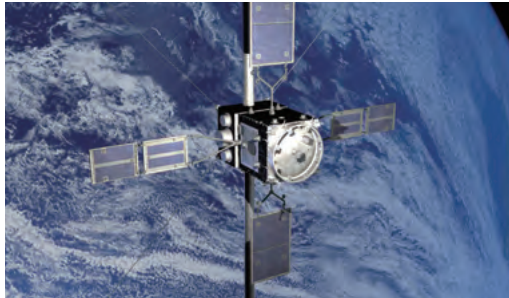
この謎を明らかにするために、ERGは広いエネルギー帯の粒子、そして広い周波数帯にわたるさまざまなプラズマ

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール (9月・10月)

	9月	10月
ASTRO-H	システム熱真空試験 (筑波)・単体試験 (相模原)	システム振動試験準備 (筑波)・単体試験 (相模原)
BepiColombo	フライトモデル単体環境試験 (相模原)	フライトモデル総合試験 (相模原)
小型衛星		フライトモデル総合試験 (相模原)
大気球	平成 24 年度第二次気球実験 (大樹町)	
観測ロケット		S-520-28号 噛合せ試験 (相模原)

の波の総合観測を行います。さらに、粒子加速の理解のために必須となるプラズマの波と粒子のエネルギー交換過程を直接検出できる機能も、世界で初めて搭載されます。

ERGは現在、2015年12月の打上げを目指して準備が進められています。ERGプロジェクトには、レーダーや磁力計、オーロラの観測などジオスペースを地上から観測しているグループ、またジオスペースのシミュレーションを行っているグループも参加しています。さらに、これらの多様なデータを統合的に解析するツール開発なども、サイエンスセンターを中心に行われています。このように、太陽地球系科学コミュニティの各研究グループの得意な手法を結集し、衛星—地上観測—シミュレーション・モデリングを組み合わせた総合解析によって、放射線帯粒子加速とジオスペースダイナミクスのメカニズムを解き明かすことを目指しています。



小型科学衛星 SPRINTバスを用いて
宇宙空間で観測する ERG衛星 (想像図)

宇宙嵐やそれに起因する放射線帯の粒子は衛星に障害を与え、また宇宙飛行士の宇宙空間における作業にとっても重大なダメージを与えることがあります。放射線帯の粒子の生成過程を知り、粒子変動の予測をすることは、科学的なテーマだけでなく、宇宙空間における人類の活動を安全に行うという宇宙

天気予報の重要なテーマにも貢献できると考えています。

ERGプロジェクトの立ち上げに際しては、多くの方からのご支援・ご協力・叱咤激励をいただきました。小型科学衛星の特徴を生かし、「打ち上げたい時期に、狙った場所へ」を合言葉に、イプシロンロケットチームともがっちりタッグを組みながら、約3年間で衛星開発・打上げに向けて全力で駆け抜けるプロジェクトになります。“難産”であったプロジェクトですが、大きく羽ばたき、世界に誇れる成果を創出するように、チーム一丸となってERGを育て上げていきます。
(高島 健, 三好由純)

銀河連邦25周年記念フレーム切手の発行

宇宙科学研究所が目黒区駒場から相模原市に移転することになったのをきっかけに、相模原市の呼び掛けで始まった、宇宙研の関連施設の地元自治体による友好関係。これが「銀河連邦」です。その銀河連邦が、今年11月8日で「建国」25周年を迎えます。

25年の間には市町村合併などがあって一部の町の名称が変わり、JAXAの設立に伴い一部の施設は宇宙研から離れ、また大気球の実験場も岩手県大船渡市から北海道大樹町へと移転しました。それでも規模は縮小されることはなく、現在はサガミハラ共和国（神奈川県相模原市）、タイキ共和国（北海道広尾郡大樹町）、ノシロ共和国（秋田県能代市）、サンリクオオファト共和国（岩手県大船渡市）、サク共和国（長野県佐久市）、ウチノウラキモツキ共和国（鹿児島県肝属郡肝付町）の4市2町から成る仮想国家となっています。

この25周年を記念しようと、相模原市の仲介で郵便局（株）南関東支社が、宇宙機をあしらった記念フレーム切手を相模原市内限定で発売しました。切手には日本初の人工衛



発売に先立ってJAXA相模原キャンパスで行われた
記念フレーム切手の贈呈式。郵便局南関東支社営業本部長の
大島芳文氏（左）と筆者。

星「おおすみ」をはじめ、M-Vロケット、「すいせい」「はやぶさ」「あかり」「ひので」「あかつき」とIKAROS、さらにはこれから打ち上げられるASTRO-H、MMO、「はやぶさ2」があしらわれています。

JAXAは協力という立場で参加しており、イラストの選定と確認はJAXA、イラストの使用料については郵便局が著作権者と直

接交渉、銀河連邦の記載内容確認は相模原市、販売は郵便局、という分担になっています。額面500円の切手シートにはがきが付いて売価1000円。発売日はJAXA相模原キャンパスの特別公開に合わせて設定され、特別公開の会場に郵便局の臨時出張所が設けられて、2日間で1000部以上を売り上げました。この種のイベント切手としては、南関東支社の売り上げ記録を大幅に更新したそうです。私も10シートほど大人買いしました。

これに味を占めて郵便局南関東支社では続編を計画中です。秋には発売されると思いますので楽しみに。

(阪本成一)

イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第9回

イプシロンロケットの 運用と施設設備 ①全般

由井 剛

イプシロンロケットプロジェクトチーム



施設設備の開発目的

イプシロンロケットはM-Vロケット同様、内之浦宇宙空間観測所(USC)で組立て、点検、打上げを行います。その際使用する射場の施設・設備は、新規開発するものとM-Vロケット設備を改修・流用するものがあります。

新規開発あるいは改修する施設・設備には、イプシロン開発の目的の一つである運用の革新、つまり省人化、時間短縮、機動性、安全性の大幅な改善を実現するため進めているものがあります。プロジェクトの目標、ミッション要求、制約条件から、施設・設備への基本要件を以下のように定めました。

- 1段射座据付けから打上げ翌日まで7日150人日
→自動・自律点検を実現する設備とすること。発射管制設備はモバイル化に対応可能なこと。
- 安全を確保すること
→総員退避時に操作が必要な警戒区域内の設備は遠隔操作化すること。

ロケットの組立てと施設設備

ロケットは、M-Vと同様、M組立室で、台車、門型クレーンを使用して各段の組立てを行い、クリーンブースで頭胴部の組立てを行います。その後、1段射座据付け、頭胴部結合をM-Vと同様、M型ロケット発射装置(M整備塔)で行います。

イプシロンロケットでは、RCS(姿勢制御装置)、PBS(ポストブーストステージ)のヒドラジン充填は工場を実施し、射場では充填しませんが、ロケット組立て、点検中にヒドラジンが万が一漏洩した場合を想定し、安全に処置を行えるよう、対策を強化します。

M整備塔は、以下の目的で改修をします(詳細は本誌2012年12月号掲載予定)。

- イプシロンは垂直打上げ
- ロケットの作業を行うステーション(高さ位置)
- 総員退避後の遠隔操作
- 音響環境の低減

ロケットの電気系点検と設備

ロケット完成形態で全段電気系点検(End to Endの検証)を行います(1段と頭胴部の結合部分の健全性確認を含む)。点検は発射管制設備(LCS)の自動・自律点検機能(詳細は次号に掲載予定)により打上げ前日ごろに1日で実施します。

なお、全段電気系点検に先立ち、各段の組立て、艀装後、M組立室、クリーンブースで各段電気系点検を実施します。この点検は、各段をテストケーブルで結線(2/3段間は本結合)し、LCSの自動・自律点検機能により実施します。

打上げ運用と施設設備

イプシロンでは、従来のロケットの管制室(射点から水平距離

が近く、建物の強度を上げる、または地下に設置するなどにより安全確保)とは異なり、管制室を打上げ時の警戒区域の外に新規に配置し、よりいっそうの安全性、運用性を確保します(ネットワークを整備しLCSを配置)。衛星の管制室、安全・保安業務の管制室も同様に計画しています。ロケットのオペレーションは、LCSの自動・自律点検機能により自動化し、数人のオペレータによる打上げ管制を実施します。

従来のロケットではロケットシステムメーカーの技術支援(評価)は射場で行ってききましたが、イプシロンではLCSを用いて手順書上の現在の作業進捗状況やテレメトリ計測データなどをロケットシステムメーカーに配信し、技術支援者は現地へ出張することなく必要な期間だけ後方支援業務に効率的に参加する計画です。

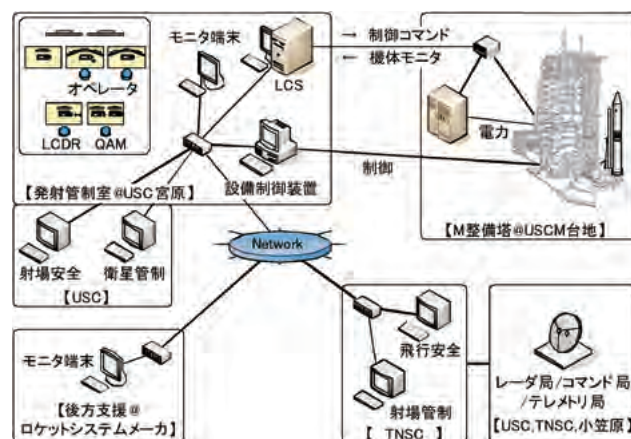
テレメトリ局経由のロケットテレメトリデータを評価する場合には、H-IIA、H-IIBロケット同様、打上げ作業管理システム(LDMS)、飛行状況実時間表示システム[FORMS]およびロケットデータ管理システム[ATMS]をイプシロン用に改修の回線と端末を利用する計画です。

これらにより、管制室の要員はM-Vの約10分の1になる見込みです。

打上げに先立ち、高層風観測結果を用いたプログラムレート再設定(最適な姿勢プログラムへの修正)を行うため、必要なデータ授受もLCSを使用し、射場とシステムメーカーの間で行います。

飛行安全管理には、H-IIA、H-IIBロケットで使用している飛行安全システムを、ソフトウェアを改修の上使用します。飛行安全管理に必要な射場での情報源は、既存の設備に新規設備を加え、射場管制(ロケットの追尾、テレメトリ受信、コマンド送信など)と協力して運用します。(ゆい・たけし)

イプシロンロケットの打上げ運用



インドの開発パワーとコーヒー

太陽系科学研究系 准教授 岡田達明

日本中が暑い夏の盛りにさしかかった7月中旬、国際宇宙空間研究委員会 (COSPAR) 科学会議に出席するために、開催地であるインド南部の古都マイソールを訪れた。COSPARとは宇宙空間からの観測をベースとする地球観測、太陽系探査、天文観測、基礎物理、宇宙ステーション利用など宇宙科学の全分野の研究者が集う大規模な国際会議で、宇宙機関のある国が持ち回りで2年に一度開催される。COSPARには宇宙研からも各分野から多数の参加者がいたはずだが、会場が広過ぎて何人参加していたかよく分からないほどだ。

インドといえば暑い国という印象があるが、マイソールは溶岩台地で名高いデカン高原の南部に位置し、標高1000m近くの高地にあって、真夏とはいえ快適で過ごしやすい。会場となったInfosys社の研修センターには、神殿ばりの巨大な会議場のほか、ドーム状の大ホール、クリケット場やテニスコート、大勢の会議参加者を収容できる多数の宿泊施設など各種施設が充実し、周辺地域から隔絶された一つの村を形成している。まるで高原に避暑に来た気分だ。インドで心配になるのが食事や飲料水による腹痛と治安だが、ここはそれらとは無縁の世界だ。毎度のインド料理もバリエーション豊富でおいしくいだけた。

インドには、なぜかここ5年間で3回目の訪問だ。いずれもバンガロール国際空港に到着した。初回はまだひなびた地方空港だったが、2回目からは新空港になった。空港からマイソールの会場まで送迎バスで5時間。来るたびに感じるのが、ものすごい開発のパワーだ。古く狭い街並みはバリバリと惜しげもなく破壊され、広い道路がズドンと開通する。以前は狭い道をリクシャー（オート三輪に

幌付きの二人掛け座席を取り付けた小型タクシー）が縦横無尽に走り、自動車は相互に側面衝突してドアミラーがなくなっているという光景がよく見られた。最近は道幅が拡張されたためか、ドアミラーのない自動車はあまり見掛けなくなった。クラクションを鳴り響かせて自分の存在を知らしめる方式は健在のようで、騒々しい。しかし、その喧騒がインドの開発振興のエネルギーとして感じられる。

インドは旧英領なので紅茶が主と思っていたが、マイソール付近はコーヒーが有名なのだとインドの友人Manoharan氏から伺った。濃く出したコーヒーを鍋で沸かした熱々の牛乳で割って飲む。COSPARではコーヒープレークにはコーヒーの無料サービスがあるものの、長蛇の列ができており、次のセッションにとても間に合いそうにない（並ぶ気がしない、が正しいか）。そこで、有料の売店で買う。有料といっても12ルピー（約20円）でコップ1杯（約200cc）を楽しめる。小カップは半額だ。これがまたおいしい。完全にはまり、休憩時間のたびに立ち寄って毎日3杯ずついただくことになってしまった。

今回のCOSPARの参加目的は、小天体科学セッションにおいて「はやぶさ2」の観測機器「中間赤外カメラ」で期待される科学や開発の現状についての発表をすること、そして「はやぶさ2」に搭載する小型ランダムMASCOTの会議のためである。MASCOTとは独仏と日本が協力して開発している10kg級の移動能力のある着陸機のごとで、小惑星表層の詳細な観測を行う予定だ。COSPARには各国から研究者が集まるため、打ち合わせに好都合だ。もう一つの参加目的は、友人のBhardwaj氏が主コンピナーを務める月科学セッションで日本の次期月探査の紹介（代理発表）を行うことである。インドでは月や火星の探査が計画的に進められていて関心が高く、月探査の講演については翌朝の現地紙に記事が載ったようだ。

さて、「はやぶさ2」プロジェクトマネージャーの吉川真さんと一緒に会場を出て街を歩いてみた。舗装と未舗装の入り混じったガタガタ道をボンコツの路線バスが走る。会場は市の中心から十数km離れており、30分ほどバスに揺られると終点のシティ・バススタンドに到着する。市中心部はさすがに人が多く、さまざまな身分や宗教の人が混在するのが分かる。観光客も大勢いる。そこから徒歩15分ほどでマハラージャ宮殿（王宮）の入り口に到着する。イスラム調の本殿に欧州風の絵画や家具、ヒンズー教の門や祭壇など複数の建物や設備があり、異種文化の融合がそこにはある。インド最高の大金持ちの宮殿内を観光するには靴と靴下を脱ぎ、裸足になって入る。実は宮殿が完成したのは20世紀初頭と新しく、まだ色彩も鮮やかだ。日本でいえば明治・大正期であり、文化遺産というには微妙だが、この豪華絢爛な王宮はマイソール市民の誇りのようだ。なお、会場への帰路には吉川さんの希望により、バスの10倍以上の値段（といっても1人100ルピー）のリクシャーに乗り、市内観光を満喫しながら戻った。（おかだ・たつあき）



マイソールにあるマハラージャ宮殿は、多くの観光客でにぎわっている。



さよなら宇宙開発委員会

松尾弘毅

宇宙科学研究所 名誉教授

日本の宇宙開発の新たな司令塔体制がようやく発足し、宇宙開発委員会(宇宙委)は長きにわたるその役割に幕を下ろしました。以下は、歴代関係者を含めた、宇宙委ならびに各部会の特別委員、JAXAの役員ならびに執行役、文部科学省の幹部ならびに宇宙関係課室長、関係府省の関係者による「さよならパーティー」での私のスピーチの骨子です。

2003年の4月に、当時の宇宙科学研究所の所長を辞して、宇宙開発委員を拝命することになりました。腹が立つことに、散々もつれた小惑星探査機「はやぶさ」がその1ヶ月後に内之浦から飛び立ちました。以来、宇宙委に6年9ヶ月在職したことになります。私の職歴は宇宙研と宇宙委だけです。宇宙委で唯一の別の人生を送ったことになりました。といっても「宇宙」であることに変わりはありませんから、「ムラの人」と呼ばれるに十分な経歴ではあります。時として、便利なレッテル貼りとして使われるようではありますが……。もっともなこともおっしゃるが小うるさいことも言うところだな、と思っていました。まさか自分が来ることになるとは思いませんでした。

結構刺激的な毎日でしたね。

前半では、H-IIAロケット6号機や地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」の失敗があり、原因究明とそれに続く現行計画の総点検は、私が審議を担当致しました。経歴が生きて、JAXAの諸君にあまり無駄な作業を強いることはなかったと思います。就任時、立派なこととは言わないかもしれないけれど変なこととは言わないから、と言った覚えがあり

ます(立派なことを言うのが務めだ、などと揚げ足は取らないでください)。

後半の華は、GXロケットでしょう。評価小委員会の委員長は、前半は私が、私が宇宙委の委員長に転じた後半は池上徹彦委員が務めました。公開で双方堂々と議論が行われました。諸般の事情により宇宙委としての結論は間に合わず、宇宙開発戦略本部が中止の結論を出すこととなりましたが、大勢はこの評価小委員会での議論で定まったと思っています。大変緊迫感のある、理解に苦しむところも多い経験をさせていただきました。評価小委員会の専門委員の方々と青江茂委員長代理をはじめとする同僚委員に敬意を表するものです。

退任に際して、私物をまとめて部屋を出ますと、エレベーターまでの間、関係課の方々が整列して拍手で送ってくださいました。退出時間が決まっていたわけでもなく、私の生涯で、「おおすみ」が地球を1周して内之浦上空に戻ってきてその電波を確認して以来の感激でした。ほかにいろいろな思い出はありますが、感動の瞬間がはっきりしているという点ではこの2件です(そもそも大学関係者には退官記念パーティーなる習慣があるのですが、私の一向に開かれる様子もなく「俺のはやったかな」「あっ、そうだ」というやりとりになり

ました。「この手のことは先生が気を配っていらっしやっただけで誰も気が付きませんでした」というのが答えで、もう少し気の利いた弁解を聞きたいものです。感激の背景にはこのようなこともあったということです)。腹が立つことに、その半年後に「はやぶさ」がオーストラリアに帰ってきました。これだけ縁が薄いと「はやぶさ」に運をすべて持っていかれたということもあります。もっとも、運が残っているとしても、せいぜい足のもつれるのが少し先に延びるくらいのものでしょう。

文部科学省が催してくださった私の歓送会で、宇宙開発新体制がなかなか決まらないことが気掛かりで、長年コミュニティに属してきた者として心配する権利ぐらひはあるだろう、と申し上げた覚えがありますが、ようやく発効したようです。

世の中、すべての人がモチベーション高く仕事ができるべくありませんが、「はやぶさ」の例を引くまでもなく宇宙はそれができるところです。そしてそれは、広く国民の皆さまに元気を送る成果につながります。新体制では上部委員会のメンバーは非常勤と伺っていますが、十分な審議と現場をくじかぬ指導を期待致します。常勤でも結構忙しかったように記憶しています。

宇宙委での経験を通じて、宇宙開発の最大の効果は、産業振興も国民生活の利便性の向上もさることながら、つまるところはそれらも含めてナショナルプレスティジの高揚にあると思ひ至りました。今後の発展をもちろん期待しています。

(まつお・ひろき)

第二の人生にワクワクしています

宇宙物理学研究系 教授

村上 浩

—— 1988年から24年間にわたって宇宙研で赤外線天文学に取り組みましたが、9月で退職されます。

村上：奥田治之先生が宇宙実験・観測フリーフライヤ (SFU) という人工衛星に日本初の赤外線望遠鏡を搭載する計画を始め、それを手伝えるために名古屋大学から宇宙研にきました。SFUは1995年に打ち上げられました。赤外線天文衛星「あかり」のプロジェクトには最初から参加し、松本敏雄先生の退官後にプロジェクトマネージャー (プロマネ) を引き継ぎました。

—— プロマネとして苦労も多かったのではないですか。

村上：苦労はなかったかな。私は人を引っ張っていくのが得意ではありません。そんな私を見かねて、みんなが動いてくれました。「あかり」は、打上げ直後に、太陽センサーが太陽を捉えられないなど、いくつか問題が発生しました。そのときも私は、「何とかありますよ」と楽観的に構えていたのです。そうしたら、危機感を持った皆さんが動いてくれて、無事観測を始めることができました。ぐいぐい引っ張っていくタイプのプロマネに憧れます。

—— 「あかり」は赤外線の全天マップを完成させるなど数多くの成果を挙げました。特に印象に残っている成果は？

村上：予想外という意味では超新星爆発の観測です。赤外線は温度が低いところを観測するのが得意なので、高温の超新星爆発には向いていないと不勉強にも思い込んでいました。ところが、惑星などの材料になるちりが誕生する現場を捉えることに成功したのです。

—— 「あかり」は2011年11月に運用を停止しました。そのときの心境は？

村上：私にとっては、特別に大きな出来事ではありません。これまでに行ってきたロケット実験や気球実験、SFUもすべて同じです。自分たちがつくった観測装置が動いて、きちんとデータが取れたときはうれしい。その積み重ねです。

—— そもそも、なぜ赤外線天文学を？

村上：ずっとさかのぼると、糸川英夫先生がペンシルロケットの実験を始めたのは私が3歳のころで、当時、子ども向けのマンガ雑誌にも紹介されていました。小学生のときには、「将来は糸川先生のようなロケットの仕事がしたい」と書いた記憶があります。また、小学5年生のときに名古屋市科学館ができて、友達に誘われて毎月プラネタリウムに通っていました。一方、医者だった父の顕微鏡を借



むらかみ・ひろし。1952年、愛知県生まれ。理学博士。名古屋大学理学部卒業。同大学院理学研究科物理学専攻博士課程中退。名古屋大学理学部助手を経て、1988年より宇宙科学研究所助教授。1997年より教授。「あかり」プロジェクトマネージャーを務める。

りていろいろなものを観察するのも好きで、名古屋大学に入ったときは、分子生物学か天文学か、まだ決めかねていました。最後は、宇宙が好き、宇宙を知りたいという気持ちが勝ち、

天文学の道へ進みました。

赤外線天文学は、私が大学院へ進む数年前に、名古屋大学の早川幸男先生が奥田先生、松本先生と始めたばかりでした。松本先生には「早川先生が生んでみたものの育つのかどうか分からないと言っている」と言われましたが、新しい波長の電磁波を使うと新しいものが見える、それが魅力でした。装置はすべて手づくりで、んだ付けをしたり旋盤を回したりしていました。自分で工夫をしてものをくり上げていくことが、とても楽しかったです。

—— ものづくりは好きなのですか。

村上：好きです。趣味が高じてログハウスも建てました。設計して、材料を調達して、組み立てる。衛星と同じです。「宇宙研で衛星をつくっていて、休みの日にまで物をつくるか」とあきれられたこともありますが、楽しいのです。

—— 日本の赤外線天文学は大きく育ちました。

村上：宇宙研では次の赤外線天文衛星 SPICA を検討中ですが、ヨーロッパと一緒にやりたいと言ってきています。30年前には考えられなかったことです。昔は、宇宙が好き、知りたいという人が集まってガヤガヤと衛星プロジェクトを動かしていましたが、SPICAほどの規模になると組織的に仕事をしなければ動きません。しかし、仕事だからではなく、やりたいから、楽しいから、という部分を忘れないでほしい。それがなければ新しいことは生まれません。

—— 研究者に必要なことは何ですか。

村上：物事にこだわること、かな。

—— 退職後は？

村上：太陽系外惑星の観測などまだやりたいことも残ってはいますが、大学や研究機関に所属して研究を続ける予定はありません。ずいぶん長く赤外線天文学をやってきました。そろそろ第二の人生として別のことをやってもいいかな、と考えたのです。今は20歳の若者に戻ったように、これから何をしようかとワクワクしています。

ISAS ニュース No.378 2012.9 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1

TEL: 042-759-8008

本ニュースは、インターネット (<http://www.isas.jaxa.jp/>) でもご覧になれます。

デザイン/株式会社デザインコンピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

● 編集後記 ● 今月は観測ロケット打上げ、ASTRO-Hシステム熱モデル試験、「きみっしょん」など、イベント盛りだくさんの月でした。関係者の皆さま、お疲れさまでした。(小川博之)

● *本誌は再生紙(古紙100%)、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

